



Ю.А. Горбатенко

АЭРОЗОЛИ И ИХ ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Екатеринбург
2014

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Кафедра физико-химической технологии защиты биосферы

Ю.А. Горбатенко

АЭРОЗОЛИ И ИХ ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Методические указания к лабораторному практикуму
по дисциплинам «Технология рекуперации газовых выбросов»
для студентов очной и заочной форм обучения
направления 280700 «Техносферная безопасность»
и 241000 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы
в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Екатеринбург
2014

Печатается по рекомендации методической комиссии ИХПРСиПЭ.
Протокол № 1 от 12 сентября 2013 г.

Рецензент – доктор химических наук профессор УрФУ А.Ф. Никифоров

Редактор Е.А. Назаренко
Оператор компьютерной верстки Т.В. Упорова

Подписано в печать 15.03.14		Поз. 102
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Объем 2,09 печ. л.	Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ПОНЯТИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ АЭРОЗОЛЕЙ	4
2. ОТБОР ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ПРОБ	6
3. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПЫЛЕЙ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ	6
3.1. Виды плотностей пыли и способы их определения	6
Пикнометрический метод определения плотности	7
Манометрический метод определения плотности	9
Весовой метод определения насыпной плотности	9
3.2. Дисперсность пыли, способы выражения и определения	10
Способы выражения дисперсности	10
Методы определения фракционного состава пыли.	
Ситовый анализ	12
Седиментометрические методы	13
Методы воздушно-струйной сепарации	14
Микроскопический метод	17
3.3. Удельная поверхность пыли	18
3.4. Слипаемость пыли	18
3.5. Сыпучесть пыли	20
3.6. Гигроскопичность и смачиваемость пыли	20
3.7. Абразивность пыли	22
3.8. Электрические свойства пыли	23
Удельное электрическое сопротивление	23
Электрический заряд пыли	24
3.9. Пожаро- и взрывоопасные свойства аэрозолей и пылевых слоев.	25
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	28
Задача № 1 «Определение смачиваемости пыли»	28
Задача № 2 «Определение сыпучести пыли»	29
Задача № 3 «Определение насыпной плотности пыли»	30
ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА КОЛЛОКВИУМ	31
ПРИМЕРЫ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОГО КОЛЛОКВИУМА	32
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	35

ВВЕДЕНИЕ

Проблема защиты окружающей среды от вредных выбросов промышленных предприятий может быть эффективно решена только при ясном понимании природы зарождения, становления и развития аэрозольных систем. Аэродисперсный, или аэрозольный, поток очень часто является достаточно сложной многокомпонентной системой, содержащей в своем составе до нескольких сотен ингредиентов, большинство из которых негативно воздействуют на окружающую среду и человека.

От полноты теоретических знаний как о самом пылегазовом потоке, так и о процессах, протекающих в промышленных агрегатах, в газовых трактах и аппаратах, зависит уровень инженерных разработок систем и установок пылеочистки, эффективность и надежность их эксплуатации и, в конечном счете, расходы «на экологию», на уплату штрафов за нарушение норм ПДК. По этой причине при решении вопросов охраны атмосферного воздуха обязательным условием является изучение не только вопросов, связанных с отбором представительной пробы, характеристики пылегазового потока и особенностей его формирования, но и четкое знание основных физико-химических свойств аэрозолей, особенно, когда речь идет о твердых аэрозольных частицах.

1. ПОНЯТИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ АЭРОЗОЛЕЙ

Аэрозолями называются двухфазные системы, состоящие из газообразной или воздушной дисперсионной среды и взвешенных в ней весьма мелких твердых либо жидких частиц, называемых дисперсной фазой. В зависимости от природы аэрозоли подразделяют на естественные и искусственные.

Естественные аэрозоли образуются под воздействием природных сил, например, при вулканических явлениях, сочетании ветра с эрозией почвы, атмосферных явлениях.

Искусственные аэрозоли образуются в результате хозяйственной деятельности общества. Важное место среди них занимают промышленные аэрозоли.

Промышленные аэрозоли образуются в производственных процессах и являются нежелательными отходами производственной деятельности общества, оказывающими неблагоприятное влияние на окружающую среду и здоровье населения.

Размеры твердых или жидких частиц, взвешенных в дисперсионной среде, могут находиться в широком диапазоне дисперсности от 10^{-7} до 10^{-1} см. Наиболее опасны для человека частицы менее 5 мкм, которые

вместе с воздухом проникают в легкие человека, где, в зависимости от химической природы частицы, либо врастают в стенки легких, провоцируя такие профессиональные заболевания, как асбестоз и силикоз, либо абсорбируются кровью и выводятся из организма человека. Более крупные частицы (более 5–7 мкм), в основном, задерживаются в верхних дыхательных путях, поэтому легко удаляются из организма человека с носовой слизью при дыхании, либо чихании.

Промышленные аэрозоли можно классифицировать по различным признакам. В зависимости от способа формирования аэрозоли делятся на дисперсионные и конденсационные.

Дисперсионные аэрозоли образуются при измельчении (диспергировании) твердых и жидких веществ. **Конденсационные аэрозоли** образуются при конденсации насыщенных паров, а также в результате газовых реакций.

Дисперсионные частицы обычно значительно грубее, чем конденсационные, обладают большей полидисперсностью, имеют неправильную форму. Конденсационные аэрозоли, напротив, имеют правильную шарообразную форму.

При рассмотрении процессов пылеулавливания и химической очистки газов наиболее предпочтительной является классификация аэрозолей по размеру частиц. В зависимости от размера, аэрозоли делятся на пыли, дымы и туманы.

Пыль – это дисперсионный аэрозоль, состоящий из газообразной или воздушной дисперсионной среды и твердой дисперсной фазы, представляющей собой частицы макроскопического размера, обладающие свойством находится во взвешенном состоянии более или менее продолжительное время.

В зависимости от размера частиц все пыли классифицируются на грубую пыль с размером частиц более 50 мкм и мелко- или тонкодисперсную – размер частиц менее 5 мкм.

Туманы – это конденсационный аэрозоль, состоящий как из конденсационных, так и дисперсионных жидких частиц (брызг, капель) размером от 0,3 до 5 мкм.

Дым – это дисперсионный аэрозоль, преимущественно состоящий из твердой дисперсной фазы (размер частиц от 0,1 до 5 мкм) либо включающий твердые и жидкие частицы.

На практике часто приходится встречаться с аэрозолями, включающими частицы как дисперсионного, так и конденсационного происхождения обычно ультрамикроскопического размера. Выбор аппарата, который бы обеспечивал эффективное улавливание взвешенных в газе аэрозолей, производится на основе подробного анализа физико-химических свойств исходной, уловленной либо вынесенной пыли.

2. ОТБОР ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ПРОБ

Объем аэрозольного потока, отбираемого в качестве пробы должен содержать количество аэрозольных частиц, достаточное для определения их физико-химических характеристик. Например, для определения химического и минералогического состава требуется 20-30 г пыли, для анализа дисперсного состава – 50–100 г, насыпной плотности и угла естественного откоса – 200–300 г, смачиваемости и слипаемости – по 15–20 г, абразивности – 200–300 г. Для полного исследования обычно достаточно 800 г. Большое количество газа отбирать нецелесообразно, так как это приводит к ухудшению улавливания аэрозольных частиц в приемнике по мере накопления в нем частиц и, кроме того, при определенной скорости пропускания газа, лимитируемой условиями улавливания частиц, лишнее количество пробы требует дополнительного времени.

В некоторых случаях для изучения свойств частиц можно брать пробу не из газового потока, а из накопительных бункеров пылеулавливающего оборудования или с транспортеров.

Для получения сопоставимых результатов каждое исследование свойств частиц должно производиться из проб пыли, выдержанных в атмосфере воздуха определенной влажности. Это предотвратит ошибку в оценке доли основного вещества в навеске за счет изменения его влажности между проводимыми анализами.

Перед проведением исследований пробу пыли тщательно перемешивают. Для этого ее рассыпают на листе бумаги и разравнивают на площади размером 70 × 70 см. Один край листа поднимают, заставляя пыль на листе перекашиваться к противоположному краю, который, в свою очередь, также поднимают, опустив первый край. Так повторяют процесс перекашивания до тех пор, пока валик пробы не займет всю ширину листа. После этого перекашивание производят в перпендикулярном направлении. Процедуру повторяют пять-шесть раз. Для исследований пыль берут из различных мест валика шпателем.

3. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПЫЛЕЙ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

3.1. Виды плотностей пыли и способы их определения

В научной и технической литературе используется несколько понятий плотности пылевидных частиц:

- **истинная плотность** представляет собой массу единицы объема частиц пыли, за исключением объема открытых и закрытых пор;
- **кажущаяся плотность частиц пыли** – масса единицы объема частиц, включая объем закрытых пор;

– **объемная плотность частиц пыли** – масса единицы объема частиц, включая объем закрытых и открытых пор;

– **насыпная плотность** – масса единицы объема частиц, свободно насыпанных в какую-либо мерную емкость непосредственно после ее заполнения, т.е. в объем занимаемый частицами, включается объем пор и промежуточное пространство между частицами;

– **насыпная плотность при встряхивании** – масса единицы объема пыли при плотной упаковке частиц, достигаемой путем встряхивания.

Из приведенных определений различных характеристик плотности видно, что последние две имеют прикладное значение. Они используются при расчете и проектировании бункеров, транспортных ёмкостей и пылепогрузчиков. Характеристика первых трех типов плотности используется для косвенных оценок других свойств пыли (седиментационный диаметр, пористость, технологическое происхождение).

Для таких косвенных оценок надо иметь ввиду следующее:

– пыль, образующаяся при измельчении монолитного материала, имеет истинную плотность, близкую к плотности исходного материала;

– аэрозольные частицы, образующиеся при горении, гранулировании, сушке имеют закрытые поры; это обстоятельство проявится при сопоставлении кажущейся плотности частиц с истинной, которая может быть определена после разрушения частиц; такое сопоставление позволит оценить и дисперсный состав частиц;

– различные по крупности частицы имеют различную структуру; так, силикагель, моющие порошки и ряд других веществ, могут иметь в крупных фракциях неразрушенные полые частицы, а в тонких – разрушенные, что проявится при сопоставлении кажущейся плотности этих фракций.

Частицы в системе могут обладать различной плотностью еще потому, что, например, в летучей золе крупные частицы содержат несгоревшие частицы топлива, а мелкие – повышенное количество солей кальция и щелочных металлов. Для измерения обсуждаемых характеристик используются различные методы, наибольшее распространение из которых получили пикнометрический и манометрический методы.

Пикнометрический метод определения плотности

Пикнометрический метод используется для определения истинной, кажущейся и объемной плотностей. Метод основан на определении объема жидкости, вытесненной аналитической навеской исследуемой пыли. Плотность соответственно вычисляется по отношению массы (навески) материала к объему вытесненной жидкости.

Поскольку используемая для определения кажущейся плотности (ρ_k) жидкость не должна взаимодействовать с пылью, для ее определения в качестве пикнометрической жидкости используют такую жидкость, которая обладает высокой текучестью и хорошей смачивающей способностью к изучаемой пыли. Такая жидкость проникает во все открытые поры и, таким образом, их объем не отражается на объеме вытесненной жидкости.

Истинная плотность (ρ_u), как выше отмечалось, требует исключения объема закрытых пор. Поэтому смачивание пыли жидкостью необходимо производить при высоком давлении, обеспечивающем разрушение закрытых пор. Для этого в качестве пикнометрической жидкости используют ртуть (метод носит название «*ртутная порометрия*»).

При измерении объемной плотности ($\rho_{об}$), используют вязкую, плохо смачивающую жидкость, не способную заполнять поры. Поэтому объем вытесненной пылью жидкости оказывается равным суммарному объему твердого материала и пор, входящих в структуру частиц.

Определение кажущейся и объемной плотностей осуществляют в жидкостном пикнометре. Пикнометр представляет собой стеклянную колбу с узкой шейкой, на которой нанесена метка – указатель объема пикнометра при 20 °С.

Перед проведением определения требуемой плотности готовят пикнометрическую жидкость и определяют массу сухого пустого пикнометра (G_1) взвешиванием на аналитических весах. Подготовка исследуемой пыли заключается в том, что ее выдерживают при температуре 20 °С в течение 20–30 мин после чего измеряют ее плотность.

После завершения подготовки в пикнометр с помощью воронки насыпают исследуемую пыль и определяют массу пикнометра с пылью (G_2). Слой пыли должен занимать около одной трети объема пикнометра. В пикнометр с пылью вливают пикнометрическую жидкость примерно до трех четвертей объема пикнометра. Вращательным движением взбалтывают содержимое пикнометра до смачивания всей пыли жидкостью. Пикнометр присоединяют к вакуумному насосу через трехходовой кран, один из ходов которого соединяет пикнометр с атмосферой. Плавным поворотом крана подключают пикнометр к вакууму, наблюдая, чтобы пузырьки отсасываемого воздуха не захватили с собой жидкость и пыль. Когда пузырьки воздуха перестанут выходить (показателем достаточно полного удаления воздуха является сохранение уровня жидкости в пикнометре в течение 30 с), необходимо плавно соединить пикнометр с атмосферой поворотом трехходового крана, отсоединив его одновременно от вакуума. После установления атмосферного давления в пикнометре его отсоединяют от системы вакуумирования, термостатируют при 20 °С и пипеткой доливают в него пикнометрическую жидкость до метки. Пикнометр закрывают пробкой, вытирают наружную поверхность и взвешивают, определяя суммарную массу пикнометра с пылью и жидкостью (G_3).

После описанного действия из пикнометра удаляют жидкость и пыль, прополаскивают его пикнометрической жидкостью, заливают пикнометрическую жидкость до метки и определяют массу пикнометра с жидкостью (G_4). Плотность частиц пыли рассчитывают по уравнению:

$$\rho_i = \frac{(G_2 - G_1)\rho_{ж}}{(G_4 - G_3 + G_2 - G_1)},$$

где $\rho_{ж}$ – плотность пикнометрической жидкости;
 G_1 – масса сухого пикнометра, г;
 G_2 – масса пикнометра с пылью, г;
 G_3 – масса пикнометра с пылью и жидкостью, г;
 G_4 – масса пикнометра с жидкостью, г.

Манометрический метод определения плотности

В основе метода лежит закон Бойля-Мариотта. Для измерения плотности определяют изменение давления в мерной ёмкости при сжатии газа, осуществляемого путем сокращения его объема на определенную величину, например, перемещением поршня в сообщающемся сосуде.

Измерение перепада давления проводят в порожней ёмкости, и в ёмкости, содержащей пробу пыли.

Объем частиц пыли определится из выражения:

$$V_0 = \frac{P_0 \Delta V (\Delta P_2 - \Delta P_1)}{\Delta P_1 \Delta P_2},$$

где P_0 – атмосферное давление, при котором фиксируется исходный объем газовой фазы до ее сжатия в измерительной системе;

ΔV – объем, на величину которого при сжатии, сокращается объем исходной газовой фазы в измерительной системе;

$\Delta P_1, \Delta P_2$ – величина увеличения давления над исходным давлением (P_0) при сжатии газа, оцениваемая при одинаковом сокращении его объема (ΔV), соответственно в опорожненном измерительном сосуде и в сосуде, содержащем навеску пыли.

Зная объем частиц пыли и массу пробы, определяют плотность пыли.

Весовой метод определения насыпной плотности

Весовой метод используется для определения только насыпной плотности и осуществляется с помощью мерного стеклянного цилиндра объемом 50–100 см³ с диаметром 30 мм. Верхняя часть цилиндра выше шкалы должна быть обрезана и отшлифована. Цена деления шкалы 0,5–1 см³.

Предварительным взвешиванием определяют массу мерного цилиндра. Затем цилиндр устанавливают в специальную камеру-штатив соосно с бункером, укрепленным наверху этой камеры. Бункер заполняется пробой пыли (150–200 г), предварительно высушенной. Далее открывают задвижку внизу бункера и при свободном истечении заполняют цилиндр пылью. Пыль, насыпавшуюся выше верхней кромки цилиндра, разравнивают линейкой до заполнения цилиндра, а лишнюю удаляют. Взвешивают цилиндр с пылью. Насыпную плотность вычисляют по разнице массы наполненного и порожнего цилиндра, отнесенной к его объему.

Иногда в технике требуется знать насыпную плотность уплотненной пыли. Для этого в описанной методике производят уплотнение слоя пыли в цилиндре с помощью вибратора. Массу пыли, определенную взвешиванием, относят к тому объему, который пыль занимает после уплотнения. Величину насыпной плотности вычисляют по пяти-шести параллельным измерениям.

3.2. Дисперсность пыли, способы выражения и определения

Характеристика дисперсного состава пыли показывает, какую долю (по массе, объему, поверхности или числу частиц) в отобранной пробе составляют частицы, принадлежащие к заранее обусловленным фракциям. Фракции обычно разделяются в зависимости от геометрического размера либо от скорости оседания частиц пыли. Дисперсный состав может быть выражен в виде таблицы, графика или аналитической формулы.

Способы выражения дисперсности

На практике обычно дисперсный состав аэрозоля характеризуют распределением частиц по размерам и выражают в виде счетной или массовой концентрации. **Счетная концентрация** определяется числом частиц пыли каждой фракции, находящихся в единице объема газообразной среды. **Массовая концентрация** определяется массой частиц, находящихся в единице объема газообразной среды.

При описании результатов анализа используют оценку выхода отдельных фракций (дифференциальная оценка), а также суммарные выходы (интегральная оценка). Если суммарный выход определяется сложением выходов отдельных фракций крупнее данного размера, то он называется суммарным **выходом по плюсу**. Суммарный выход **по минусу** показывает долю частиц различных фракций меньше данного размера. Часто используют выражения «полный остаток» и «полный проход», первое

из них соответствует понятию суммарного выхода по плюсу, а второе – по минусу.

Результаты определения дисперсного состава исследуемой пыли обычно представляют в виде таблицы. Например, пусть получены экспериментально следующие данные массовой концентрации фракций в навеске 100 г:

Размер частиц фракции, мкм	<1,6	1,6-2,5	2,5-4	4-6,3	6,3-10	10-15	15-25	>40
Масса фракции, г	2,08	4,61	9,32	18,56	25,2	19,74	12,97	7,52

Суммарные выходы по плюсу и по минусу для каждого граничного размера составят:

Граничный размер (δ), мкм		<1,6	<2,5	<4	<6,3	<10	<15	<25	<40
Суммарный выход, %	по плюсу	2,08	6,69	16,01	34,57	59,77	79,51	92,48	100
	по минусу	97,92	93,31	83,99	65,43	40,23	20,49	7,52	0

Результаты дисперсного анализа можно представить в виде графиков. Принимая равномерным распределение частиц по размерам внутри каждой фракции, строят ступенчатый график, называемый гистограммой. По оси абсцисс откладывают размеры частиц, а по оси ординат – относительное содержание фракций, т.е. процентное содержание каждой фракции, отнесенное к массе всей пыли (рис. 1).

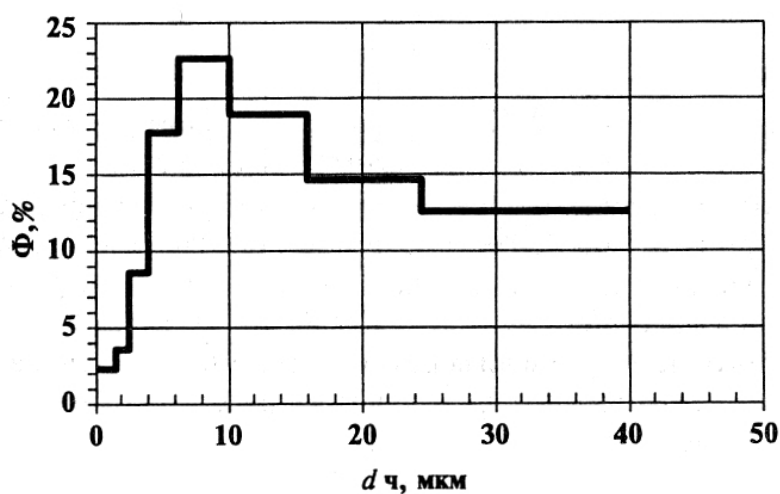


Рис. 1. Гистограмма распределения по фракциям

Однако наиболее удобным является графическое изображение результатов дисперсионных анализов в виде интегральных кривых $R(d_q)$ и $D(d_q)$, каждая точка которых показывает относительное содержание частиц с размерами больше или меньше заданного (рис. 2).

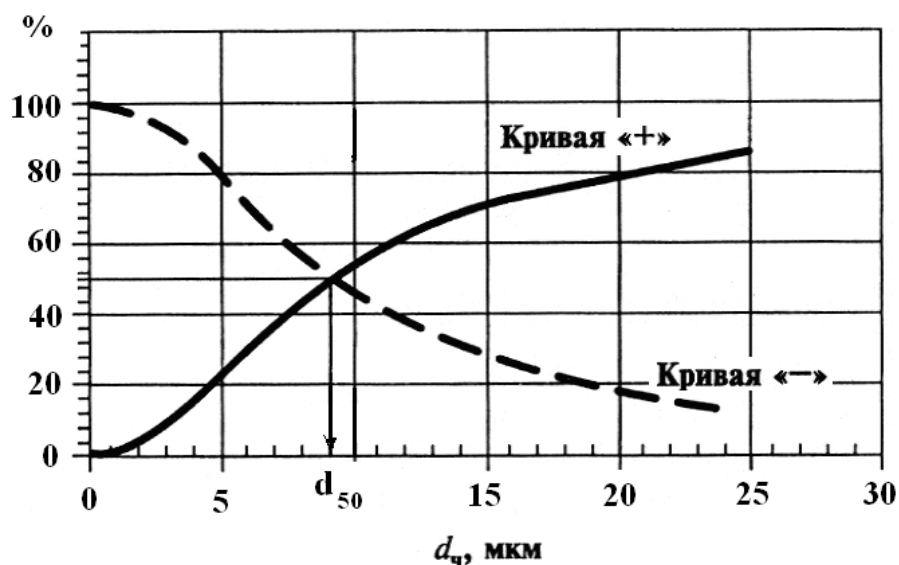


Рис. 2. Интегральное распределение в линейной системе координат

Точка пересечения «кривых по «+» и по «-»» является показателем степени дисперсности и называется **медианным диаметром** (d_{50}), т.е. таким размером частиц, содержание которых в пыли составляет 50 %. Именно на основании данного диаметра производится выбор пылеулавливающего оборудования.

Методы определения фракционного состава пыли. Ситовый анализ

Ситовый анализ уловленной пыли или порошкообразного материала основан на механическом разделении частиц по крупности путем просева через сита с различными размерами отверстий. Нижняя граница размеров ячеек сита обычно принимается равной 40 мкм (на печатных ситах 5 мкм).

Метод ситового анализа применяется для определения фракционного состава грубой пыли, т.е. пыли, у которой доля частиц размером менее 100 мкм составляет не более 10 %!

В практике ситового анализа используется несколько способов рассева: ручной, механический, воздушно-струйный и мокрый. Мокрый используется для рассева пылей, склонных к электризации, а также для рассева на печатных ситах с ячейками от 5 мкм. При ручном рассеве рекомендуется анализируемую пробу помещать на наиболее тонкое сито, а полученный остаток перекладывать на следующее по крупности ячеек сито. Такая

последовательность предпочтительна, так как присутствие крупных частиц способствует просеву мелких на тонких ситах.

Сухой механический или ручной рассев можно считать законченным, если через сито при повторном расसेве, в течение трех минут проходит не более 1 % пыли, находящейся на данном сите. После окончания просева каждую фракцию с соответствующего сита и поддона взвешивают на аналитических весах. Результаты анализа заносят в таблицу, как показано выше. Суммарная масса фракций не должна отклоняться от массы исходной навески более чем на 2 %.

Седиментометрические методы

Существует много методов экспериментального определения дисперсного состава, основанных на переводе пробы пыли в суспензию с последующим измерением скорости седиментации. Рассмотрим наиболее часто используемые методы.

Отмучивание осуществляется путем разделения суспензии на две фракции. Для этого суспензию многократно отстаивают определенное время в вертикальном сосуде, после чего сливают осветленную часть суспензии до определенного уровня. Сгущенную часть фильтруют, пыль сушат и определяют долю частиц, преодолевшую замеренное расстояние за условленное время.

Пофракционное (дробное) осаждение основано на диспергировании анализируемой пробы пыли в верхней части столба жидкости (дисперсионной среды) и измерении массы осадка, выпадающего на дне седиментационного цилиндра известной высоты к заданным моментам времени.

Накопление осадка на чашечке весов основано на измерении массы дисперсионной фазы, выпадающей из столба суспензии известной высоты, на погруженную в суспензию чашечку по истечении заданных промежутков времени. Чашечка представляет собой круглое вогнутое стекло (диаметр около 10 мм), подвешенное на консольной стеклянной тонкой палочке (нити). Нить по мере утяжеления чашечки, погруженной в суспензию, прогибается. Положение конца нити предварительно градуируют с помощью специальных навесок. При проведении анализа определяют массу осевшей взвеси по градуировочной шкале и положению конца нити в заданный момент.

Все перечисленные седиментометрические методы реализуются для анализа пробы пыли, уловленной из аэрозолей и переведенной в компактное состояние.

Важное значение, имеет выбор дисперсионной жидкости. Так же, как и при пикнометрических определениях плотности, она должна быть

нейтральна по отношению к частицам дисперсной фазы: не вступать с ними в химическую реакцию и не вызывать растворения либо набухания. Она должна быть не слишком вязкой и хорошо смачивать частицы. Кроме того, необходимо, чтобы разность между плотностью частиц и среды была достаточной для обеспечения ощутимой скорости оседания.

Важно при анализе обеспечить агрегативную устойчивость суспензии, т.е. предупредить образование агрегатов частиц в течение всего анализа. Для этого в качестве добавок к жидкости используются стабилизаторы, например, тринатрийфосфат, пирофосфат натрия.

Методы седиментометрического анализа дисперсного состава, в отличие от ситового анализа, определяют условный размер частиц в виде их седиментационного диаметра, который может быть вычислен по формуле:

$$d_{сед} = \sqrt{18 \cdot 10^7 \mu H (\rho_m - \rho_{ж}) g \tau},$$

где μ – динамическая вязкость среды, Па·с;

H – высота (путь) оседания частиц, см;

ρ_m – плотность материала частиц, кг/м³;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение гравитации, м/с²;

τ – время оседания, с.

Методы воздушно-струйной сепарации

В методах воздушно-струйной сепарации дисперсионная среда (газ) должна в ходе анализа двигаться, в отличие от седиментометрических методов, где частицы пыли оседают в дисперсионной среде, находящейся в состоянии покоя.

Для осуществления дисперсионного анализа методом газовой сепарации существуют специальные приборы: ротационный анализатор дисперсности РАД-1, аппарат Бако и струйные сепараторы – импакторы.

Основное преимущество этих устройств заключается в том, что с их помощью можно анализировать дисперсный состав пыли непосредственно в газоходах или воздухопроводах. Таким образом устраняются возможные искажения дисперсного состава реальной пыли при вторичном диспергировании отобранной пробы пыли.

Указанные методы можно применять и для анализа уловленной пыли. При этом решается и вопрос дисперсионной среды – ею автоматически становится воздух.

Ротационный анализ с помощью РАД-1 основан на центробежной сепарации частиц пыли в процессе движения пылегазового потока вдоль

кольцевого канала, образуемого двумя вращающимися концентрически скрепленными трубками, которые являются ротором. Ротационный анализатор относится к классу центрифуг проточного типа. Под действием центробежной силы пылевые частицы выделяются из газового потока и оседают на наружной стенке проточного канала. Распределение осадка пыли по длине ротора находится в определенной зависимости от дисперсного состава пыли, так как центробежная скорость движения частиц во вращающемся потоке (к стенке канала) пропорциональна их диаметру. Имея предварительную градуировку длины канала соответственно частицам различного размера известной смеси, в ходе анализа измеряют массу осадка на отдельных участках по каналу и на основании этого определяют дисперсный состав исследуемого аэрозоля.

Общее количество осажденной в природе пыли, отнесенное к объему прошедшего через ротор газа, характеризует концентрацию аэрозоля.

Анализ струйным сепаратором (импактором) (рис. 3) основан на инерционном осаждении взвешенных частиц в результате резкого изменения направления движения запыленного потока под влиянием расположенных в сепараторе специальных сопел и препятствий.

Импактор имеет цилиндрический корпус, через который просасывается проба аэрозоля. Внутри корпуса обычно расположено семь ступеней сепарации частиц. Сечение сопел по ходу потока уменьшается, а линейная скорость выходящего газа соответственно возрастает. Благодаря этому на каждой последующей ступени в осадителе улавливаются все более мелкие частицы. Наличие связи между размерами осаждающихся частиц и скоростью газа позволяет судить о дисперсности частиц пыли.

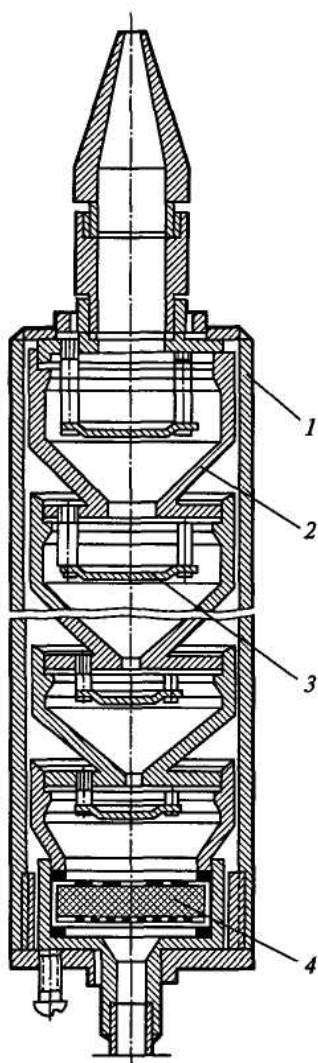


Рис. 3. Каскадный импактор модели НИИОгаз:
1 – корпус; 2 – стакан; 3 – тарелка;
4 – фильтр

Сепаратор типа **Бако** основан на действии центробежных сил. Для этого сепаратора центробежная сила превышает силу тяжести более чем в 650 раз (рис. 4).

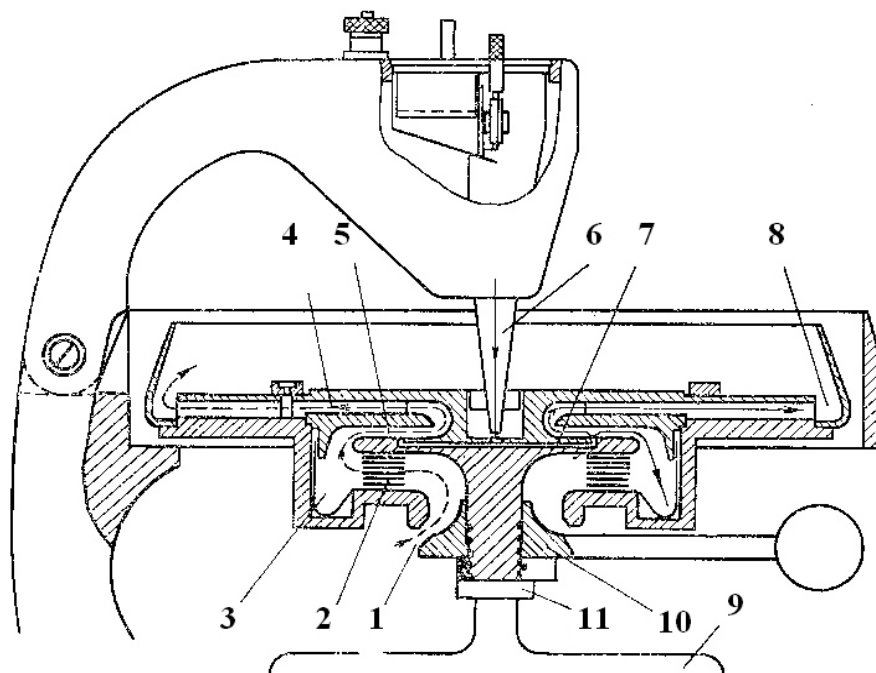


Рис. 4. Центробежный аппарат типа Бако:
----- путь воздуха; — путь пыли

Весь сепаратор (за исключением питающего устройства) посажен на вертикальный вал электродвигателя 9, вращающегося со скоростью 2800 об/мин.

Воздух засасывается вентилятором 4 и входит в сепаратор через кольцевую щель 1. После прохождения выпрямляющих лопаток 2 воздух поступает в камеру 5, где осуществляется сепарация. Затем воздух по каналам вентилятора удаляется в атмосферу.

Путь анализируемого пылевидного материала таков: через дозирующее устройство и питающую воронку 6 пыль поступает в центральное засасывающее отверстие. Из него она увлекается потоком воздуха в канал 7 и затем поступает на периферию камеры сепарации 5. Крупные частицы под действием центробежной силы отбрасываются наружу и падают в пылесборник 3. Тонкие частицы, увлекаемые воздухом, проходят через вентилятор, и большая их часть отделяется при помощи борта 8; однако часть тонкой пыли увлекается воздухом в атмосферу и теряется.

Отделение определенной фракции в сепараторе регулируют изменением площади кольцевой щели 1 при помощи коллектора 10, фиксируемого сменными подковообразными подкладками 11. При изменении площади щели меняется количество засасываемого воздуха.

Таким образом, разделение на фракции в этом сепараторе происходит под действием на частицы одновременно двух сил: центробежной, возникающей при вращении подвижной части (диска) сепаратора и отбрасывающей частицы к периферии, и силы аэродинамического сопротивления (стоксовского трения) воздушного потока, увлекающей частицы от периферии к центру диска. Преобладание той или иной силы зависит от величины частиц, их плотности и формы, т.е. от скорости витания. Частицы, для которых действие обеих сил окажется равным, являются граничными. По аэродинамической крупности этих частиц пыль разделяется на две фракции.

Частицы меньше граничных выносятся воздушным потоком из прибора, а крупные оседают в пылесборнике. Осевшую пыль собирают и взвешивают. По разности между массой пыли, введенной в прибор (обычно 10 г), и массой собранной после отвеивания пыли определяют количество отделенной тонкой фракции. Собранную после первого отвеивания пыль повторно вводят в прибор и увеличением расхода и скорости воздуха, поступающего в сепаратор (сменой подкладки 11), отделяют более крупную фракцию. Увеличивая в каждом последующем отвеивании скорость движения воздуха, разделяют навеску пыли примерно на восемь фракций.

Центробежные сепараторы не применяются для анализа слипающихся и волокнистых пылей, так как могут забивать камеру разделения прибора и, как следствие, нарушать его работу.

Микроскопический метод

При помощи микроскопического анализа определяют счетную концентрацию частиц пыли различных фракций.

Оптический микроскоп можно применять для определения формы и размера частиц от 1 до 50 мкм. Большое значение при этом имеет способ приготовления пылевого препарата, т.е. препарата на покровном стекле (частицы пыли, подвергаемые микроскопическому анализу, которые после наложения на предметное стекло устанавливают на предметный столик микроскопа).

При определении дисперсного состава подсчитывают в поле зрения микроскопа число частиц каждой выбранной фракции.

Преимуществом микроскопического анализа является возможность помимо определения размеров пылевых частиц и их количества, изучать строение частиц и делать микрофотографии пыли.

Метод микроскопии трудоёмок, поэтому его применяют для качественных, а не количественных исследований дисперсного состава, в основном, при выполнении научных исследований.

Микроскопический анализ рекомендован для пылей с неизвестными свойствами, прежде всего, при сложном химическом составе. Для ряда видов пылей он является единственно возможным.

3.3. Удельная поверхность пыли

Удельной поверхностью пыли называется отношение поверхности всех частиц к их массе или объему. Значение этого параметра для характеристики пыли очень велико, поскольку удельная поверхность оказывает влияние на реакционную способность пыли, способность увлажняться и др.

В основе многих методов определения удельной поверхности лежит свойство оказывать влияние на воздухопроницаемость слоя порошка.

Для определения удельной поверхности пыли по воздухопроницаемости применяют два типа приборов. Один тип работает с переменным расходом воздуха, проходящим через кювету с исследуемым порошком, другой – со стабильным. К первому типу относится отечественный прибор ПСХ-2, рекомендуемый для пылей с величиной $S_{уд}$ менее $5000 \text{ см}^2/\text{г}$. Из приборов второго типа используется прибор Товарова и приборы Блейна. Они могут быть использованы для оценки порошка с высокой удельной поверхностью.

3.4. Слипаемость пыли

Слипаемость – это способность частиц пыли образовывать малоподвижные конгломераты, приводящие к накоплению отложений на внутренних поверхностях газоходов, бункеров и пылеспускных каналов.

Устойчивая работа пылеулавливающего оборудования во многом зависит от слипаемости пыли, так как повышенная слипаемость частиц может привести к частичному или полному забиванию аппаратов.

Установлено, что чем меньше размер частиц, тем легче они прилипают к поверхности аппарата. Пыли, у которых 60–70 % частиц имеют диаметр меньше 10 мкм, ведут себя как слипающиеся.

Слипаемость пыли в большей мере зависит от ее аутогезионной и адгезионной способности, особенно в отсутствии связывающих жидкостей. Микроскопические частицы в газовой среде слипаются между собой (**аутогезия**) и прилипают к поверхности более крупных частиц, либо к стенкам аппарата (**адгезия**) под действием межмолекулярных капиллярных сил, кулоновского взаимодействия разноименно заряженных частиц.

Способность слипаться у пылей оценивают по величине разрывной прочности. Количественно она равна силе, отнесенной к площади контакта, необходимой для разрыва слоя. По величине разрывной прочности слоя пылевидные материалы разделяют на четыре группы (табл. 1).

Таблица 1

Слипаемость некоторых видов пыли и золы

Группа слипаемости	Разрывная прочность слоя пыли (P , Па)	Виды (материалы) пыли
I группа Неслипающаяся	< 60	Шлак, доломит, глинозем, сухая глина, кварцевый песок
II группа Слабослипающаяся	$60 - 300$	Сланцы, кокс, магнезит апатит, доменная пыль
III группа Среднеслипающаяся	$300 - 600$	Сухой цемент, железный колчедан, сажа и др. пыли с максимальным диамет- ром частиц 25 мкм
IV группа Сильнослипающаяся	> 600	Гипс, алебастр, влажный цемент, хлопок, шерсть и все пыли с частицами не более 10 мкм

Результаты исследования слипаемости используются для выбора типа направляющего элемента в циклонах и оценки необходимости оснащения бункеров вибраторами, для установки максимальной концентрации пыли.

Так, для пыли III группы допустимая концентрация в два раза меньше, чем для II группы.

Все методики определения группы слипаемости пыли состоят из формирования образца пылевого слоя и последующего приложения к нему растягивающего усилия. Для определения прочности слоя, сформированного непосредственно в аппарате, наиболее признан косвенный метод, получивший название «*метод воздушной эрозии*». Метод основан на том, что на предварительно сформировавшийся в действующем аппарате слой пыли, направляют тонкую струю воздуха. Увеличивая расход, а, следовательно, и линейную скорость, определяют критическое ее значение, т.е. скорость, при которой начинается интенсивный унос пылевых частиц с поверхности и образование в слое эрозионной лунки. По величине критической скорости с помощью калибровочного графика определяют величину разрывной прочности пылевого слоя (P).

3.5. Сыпучесть пыли

Сыпучестью пыли называется способность частиц пыли перемещаться относительно друг друга под действием внешней силы. Сыпучесть зависит от размера частиц, их формы и влажности, а также степени уплотнения пылевого слоя.

Сыпучесть характеризуется разными показателями, наиболее часто – по динамическому углу естественного откоса, который заключен между горизонтальной поверхностью и образующей конуса, форму которого принимает свободно насыпаемая из узкого отверстия на плоскую поверхность пыль. Поскольку плотность упаковки частиц зависит от высоты падения их при насыпке, измерительные устройства должны закрепляться исследуемой пылью из бункеров, расположенных на одинаковой высоте (400 мм) от основания устройства. Экспериментально для этого используют диск, измеренным диаметром, приподнятый над дном какого-либо сосуда, в который будет сыпаться излишек пыли. Из отверстия, расположенного над диском по оси его, сыплют пыль до образования конуса, полностью заполняющего своим основанием диск. С помощью линейки с перемещаемой по вертикали планкой, измеряют высоту конуса и определяют угол по уравнению:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{2H}{d}\right),$$

где H – высота конуса, мм;

d – диаметр конуса, мм.

3.6. Гигроскопичность и смачиваемость пыли

Гигроскопичностью пыли называется способность пыли поглощать влагу из окружающей среды до равновесия с влагосодержанием этой газовой среды.

Поглощенная пылью влага оказывает влияние на такие свойства пыли, как электрическая проводимость, слипаемость, сыпучесть и др.

Содержание влаги в пыли выражается величиной влагосодержания или влажности.

Влагосодержание (кг/кг) – отношение количества влаги в пыли к количеству абсолютно сухой пыли.

Влажность (%) – отношение количества влаги в пыли ко всему количеству влажной пыли.

Существует несколько методов определения гигроскопической влаги. Наиболее распространен метод высушивания пробы до постоянной массы

при температуре 105 ± 2 °С. Однако этот метод не подходит для веществ с температурой разложения или плавления ниже 110 °С.

Под **смачиванием** понимают способность капли жидкости растекаться по поверхности твердого тела (частицы пыли).

По способности к смачиванию твердые вещества делятся на хорошо смачиваемые – **гидрофильные** – и плохо смачиваемые – **гидрофобные**.

Гидрофильные частицы, т.е. хорошо смачиваемые, лучше улавливаются в мокрых пылеуловителях.

Мерой смачивания служит величина $\cos \theta$, где θ — краевой угол (угол смачивания), образованный плоской поверхностью твердого тела и плоскостью, касательной к поверхности жидкости, граничащей с твердым телом (рис. 5); выдерживается через поверхностное натяжение:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{нг} - \sigma_{жп}}{\sigma_{жг}},$$

где $\sigma_{нг}$ — поверхностное натяжение на границе пыль – газ;

$\sigma_{жп}$ — поверхностное натяжение на границе жидкость – пыль;

$\sigma_{жг}$ — поверхностное натяжение на границе жидкость – газ.

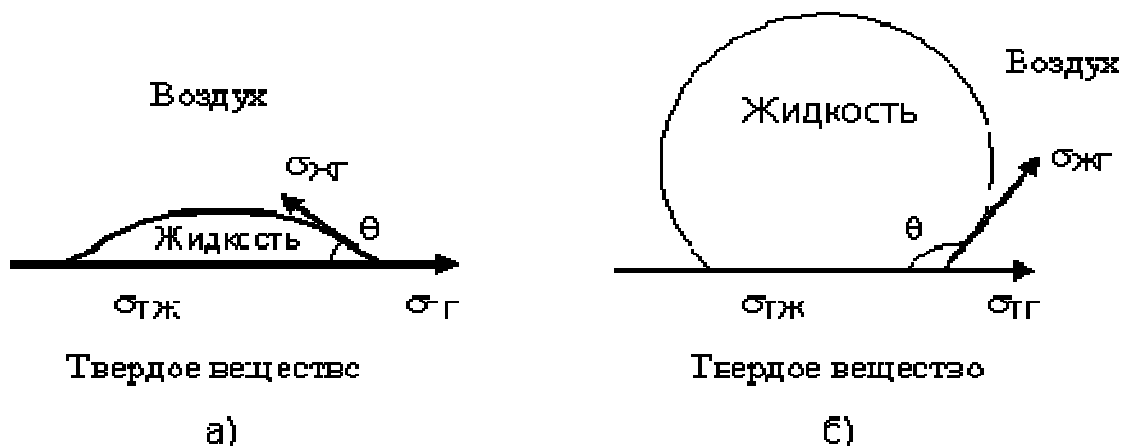


Рис. 5. Краевой угол смачивания между жидкостью и твердым телом:

а) – $\theta < 90^\circ$; б) – $\theta > 90^\circ$

Смачивание частиц пыли капельками воды лежит в основе мокрого пылеулавливания. Смачиваемость влияет также на гидропылеудаление и ряд других важных процессов.

Непосредственно измерение величины краевого угла для частиц пыли представляет серьезную трудность. Чаще этот параметр определяют косвенно: методом пропитки или методом пленочной флотации.

По *методу пропитки* измеряют величину смоченного слоя и время пропитки, расчет производят по уравнению:

$$\frac{l^2}{\tau} = \frac{\sigma \cos \theta}{2\mu} r,$$

где l – длина смоченного участка слоя пыли;

τ – время пропитки;

σ – поверхностное натяжение жидкости;

θ – краевой угол смачивания;

μ – динамическая вязкость жидкости;

r – средний радиус пор пыли.

Определение смачиваемости *методом пленочной флотации* заключается в измерении массовой доли, затонувших за определенное время частиц пыли, насыпанной тонким слоем на поверхность жидкости. Предполагается, что на поверхности жидкости пыль должна образовать монослой и каждая частица контактирует с жидкостью. Поэтому при определении смачиваемости следует насыпать пробу на поверхность жидкости предельно тонким слоем и равномерно. Момент засыпки пыли в кювету с жидкостью считается точкой отсчета времени смачивания.

По истечению заданного времени (порядка 2 мин) определяют количество осевшей (затонувшей) пыли.

О смачиваемости пыли судят по доле затонувших частиц:

<i>Смачиваемость</i>	<i>Доля затонувших частиц, %</i>
Плохая смачиваемость	< 30
Средняя смачиваемость	30–80
Хорошая смачиваемость	> 80

3.7. Абразивность пыли

Абразивность – это способность частиц пыли вызывать истирание стенок конструкций и аппаратов, с которыми соприкасается пылегазовый поток. Она зависит от твердости и плотности вещества, из которого образовалась пыль, размера частиц, их формы, скорости потока.

При значительной абразивности пыли воздухопроводы, газоходы, стенки пылеулавливающих аппаратов выходят из строя за весьма короткий срок.

Абразивность пыли нужно учитывать при выборе материала и толщины стенок каналов, по которым перемещается пылегазовый поток и аппаратов для очистки этих потоков, а также при необходимости

ограничивать скорость движения потоков. В ряде случаев применяют специальные облицовочные защитные материалы.

Считают, что износ металлических элементов вследствие абразивности пыли возрастает по мере увеличения размера частиц вплоть до 80 мкм, а затем, по мере дальнейшего увеличения размера, абразивные свойства уменьшаются.

Абразивность пыли определяют на специальном приборе. Во вращающейся трубке прибора частицы исследуемой пыли, разгоняются под действием центробежных сил, истирают поверхность стандартного образца. В результате происходит массовый износ, т.е. потеря массы образца. На основании исследований определяют коэффициент абразивности пыли по формуле:

$$K_a = B \Delta G$$

где ΔG – потеря массы образца, кг;

B – постоянная прибора.

3.8. Электрические свойства пыли

Электрические свойства оказывают значительное влияние на поведение пылевых частиц. Электрические силы во многом определяют устойчивость пылевых агрегатов, взрывоопасность пыли, ее воздействие на живые организмы. Электрические свойства пыли должны быть учтены при решении вопросов, связанных с очисткой газов (воздуха) от пыли, в первую очередь, с работой электрофильтров.

К основным электрическим свойствам пыли относятся величина удельного электрического сопротивления и электрический заряд пыли.

Удельное электрическое сопротивление

Электрическая проводимость пылевого слоя, главным образом, имеет значение при оценке возможности использования методов электрофильтрационного разделения аэрозолей. Обычно эту характеристику оценивают и выражают через обратную величину – удельное электрическое сопротивление (УЭС). **Удельное электрическое сопротивление** – это сопротивление прохождению электрического тока через куб пыли со стороной в 1 м.

По величине УЭС пыль диэлектрических материалов (а электроосаждение может быть применено только к пыли таких материалов) условно подразделяют на три группы:

- хорошо проводящая ($УЭС < 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$);
- средне проводящая ($10^2 < УЭС < 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$);
- плохо проводящая (высокоомная) ($УЭС > 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$).

Наиболее эффективно применение электрического пылеулавливания к пыли второй группы. Поэтому важна изменчивость величины УЭС одной пыли в различных условиях окружающей среды. Электрическое сопротивление пыли обусловлено поверхностной и внутренней (объемной) проводимостью. Вследствие адсорбции влаги и газов на пылинках образуется поверхностный слой, отличающийся по свойствам от основного материала. Этот слой и обуславливает поверхностную проводимость. Внутренняя проводимость вызвана электронной или ионной проводимостью основного материала частиц и увеличивается с ростом температуры за счет увеличения энергии электронов. В итоге при нагревании пыли от комнатной температуры до 300 °С величина УЭС может изменяться на два порядка. Так, при комнатной температуре частицы адсорбируют из воздуха влагу и поэтому имеют сравнительную низкую поверхностную составляющую сопротивления. По мере нагревания до 90–180 °С влага испаряется, и поверхностная составляющая возрастает, повышая общую УЭС в 90–100 раз. Дальнейшее повышение температуры до 300 °С, благодаря снижению объемного сопротивления, приводит к снижению общего УЭС до исходного значения (при комнатной температуре).

Методы определения УЭС пыли как в лабораторных, так и в промышленных условиях, состоят из двух этапов: формирование слоя исследуемой пыли и измерение электрического сопротивления слоя. Сопротивление слоя пыли может быть измерено тераометром или определенно расчетным путем с учетом величины напряжения, приложенного к измерительным электродам прибора, и тока, протекающего через слой пыли.

Электрический заряд пыли

Пылевая, как и другая аэрозольная частица, может иметь один или несколько электрических зарядов или быть нейтральной. Аэрозольная система может иметь в своем составе частицы, заряженные положительно, отрицательно и имеющие нейтральный заряд. Соотношение этих частиц определяет суммарный заряд системы.

Пылевые частицы получают электрический заряд как в процессе образования, так и после него, находясь во взвешенном состоянии, в результате взрыва, диспергирования, взаимного трения, трения о воздух, а также вследствие адсорбции ионов и электронов при ионизации среды. Последний способ электризации является основным для взвешенных частиц.

Электрическое состояние аэрозольной системы не остается постоянным во времени. В результате взаимодействия друг с другом и с окружающей средой взвешенные частицы получают заряд, отдают его, нейтрализуются.

Взвешенные вещества ряда аэрозолей несут электрические заряды определенного знака. Обычно неметаллические частицы заряжаются положительно, а металлические – отрицательно. Соли NaCl , CaCl_2 заряжаются положительно, а CaCO_3 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; MgCO_3 – отрицательно.

<i>Вещества, заряженные положительно:</i>	<i>Вещества, заряженные отрицательно:</i>
апатит, крахмал, мрамор, песок, уголь, сера	кальций, кварцевый песок, мука, оксид железа, оксид цинка, цинк

3.9. Пожаро- и взрывоопасные свойства аэрозолей и пылевых слоев

Способность образовывать с воздухом взрывоопасную смесь и способность к воспламенению являются важнейшими отрицательными свойствами многих видов пыли, поскольку именно эти свойства способны вызывать (провоцировать) на предприятиях несчастные случаи с людьми, разрушение и повреждение оборудования, строительных конструкций и т.д.

В наибольшей степени различие физико-химических свойств пыли и твердых веществ, из которых она образована, проявляется в ее пожаро- и взрывоопасности. Такие вещества, как зерно и сахар хотя и способны сгорать при определенных условиях, не являются взрывоопасными веществами. Будучи же приведенными в пылевидное состояние, они становятся не только пожаро-, но и взрывоопасными.

Пыль, находящаяся во взвешенном состоянии в воздухе помещений, **взрывоопасна**. Осевшая пыль (гель) **пожароопасна**.

При этом взрывоопасные свойства являются значительно более опасными, нежели пожароопасные. При взрыве реакция протекает значительно быстрее, распространяясь со скоростью сотни и тысячи метров в секунду, при горении – со скоростью несколько десятков метров в секунду. Процесс горения пыли, находящейся во взвешенном состоянии, протекает гораздо интенсивнее, чем горение осевшей пыли (аэрогель).

Локальный взрыв пыли может перевести во взвешенное состояние осевшую пыль, в результате чего фронт взрыва расширится. При первом или последующем взрыве происходит встряхивание здания и расположенного в нем оборудования. Пыль, покрывающая тонким слоем их поверхности, переходит во взвешенное состояние, образуя взрывоопасную смесь, которая вновь становится питательной средой для следующего взрыва.

Последующий более мощный взрыв способен разрушить ёмкости, где хранятся пылевидные материалы. Это уже будет средой для мощного взрыва, способного разрушить здание.

Рассмотрим ряд определений, характеризующих горение и взрыв.

Горением называется физико-химический процесс взаимодействия горючего вещества и окислителя, сопровождающийся выделением тепла и излучением света.

Под **возгоранием** понимают начальную стадию горения, которая возникает под действием источника зажигания. Возгорание, которое сопровождается появлением пламени, называется **воспламенением**.

Самовозгорание – возникновение горения вещества в отсутствие источника зажигания. Самовозгорание может быть тепловым, микробиологическим и химическим.

Тепловое самовозгорание происходит в результате нагрева вещества до определенной температуры.

Микробиологическое самовозгорание возникает в результате жизнедеятельности микроорганизмов.

Химическое самовозгорание происходит в результате химического взаимодействия веществ.

Самовоспламенение – это самовозгорание, сопровождающееся появлением пламени.

Температура самовоспламенения – самая низкая температура вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающееся возникновением пламенного горения.

Взрыв – одна из разновидностей реакции горения. Ее характерным отличием является исключительно быстрое, практически мгновенное протекание реакции в объеме.

Возбуждение взрыва пыли возможно при сочетании определенных условий, необходимых для взрыва. Если отсутствует хотя бы одно из этих условий, взрыв не произойдет, несмотря на наличие остальных.

Таковыми условиями являются:

- концентрация пыли в воздухе между нижним и верхним пределами;
- наличие источника возбуждения взрыва достаточной температуры и мощности в запыленной зоне;
- питание кислородом, достаточное для обеспечения процесса горения.

Нижний концентрационный предел распространения пламени по пылевоздушным смесям (**НКПРП**), г/м³, – минимальное содержание пыли в воздухе, достаточное для возникновения взрыва (при наличии других условий).

НКПРП соответствует определенному среднему значению расстояния между пылевыми частицами, при котором происходит достаточно интенсивный теплообмен между частицами. При этом накапливается необходимая для взрыва тепловая энергия. Если концентрация пыли в воздухе незначительна, расстояния между частицами пыли велики и теплообмен становится ограниченным.

Верхний концентрационный предел распространения пламени пылевоздушных смесей (**ВКПРП**), г/м^3 – максимальное содержание пыли в воздухе, при котором взрывообразование прекращается, несмотря на наличие прочих необходимых условий.

При концентрациях больше ВКПРП кислорода становится недостаточно для реакции, и процесс прекращается.

Между НКПРП и ВКПРП находится концентрация пыли в воздухе, которая является наиболее взрывоопасной. Ей соответствует наибольшее значение взрывного давления. Такое значение, естественно, имеется для каждого вида пыли.

НКПРП зависит от химического состава, дисперсности пыли и скорости газа в помещении. Высокодисперсный материал имеет большую поверхность контакта с окислителем (кислородом воздуха). У материала с развитой поверхностью большая электрическая ёмкость, следовательно, значительная способность получать заряды статического электричества вследствие трения частиц, что увеличивает пожарную опасность вещества. На НКПРП пыли влияет также наличие в ее составе минеральных добавок, не участвующих во взрывообразовании. Являясь инертным компонентом, минеральная составляющая сдерживает взрывообразование в результате экранирования и поглощения теплоты.

При движении воздуха со скоростью 5 м/с нижний предел повышается в 2 – 3 раза.

Уменьшить взрыво- и пожароопасность пыли можно путем ее увлажнения – мокрой уборки помещений.

Взрыво- и пожароопасные пыли делят на четыре класса. Критерием является значение НКПРП и температуры самовоспламенения.

I класс – наиболее взрывоопасные пыли с НКПРП до 15 г/м^3 ;

II класс – взрывоопасные пыли с НКПРП $16 - 65 \text{ г/м}^3$;

III класс – наиболее пожароопасные пыли с температурой самовоспламенения в куче, в токе воздуха до $250 \text{ }^\circ\text{C}$;

IV класс – пожароопасные пыли, обладающие температурой самовоспламенения при тех же условиях выше $250 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Целью данной работы является изучение основных физико-химических свойств различных промышленных пылей (строительного песка, пыли от галтовочных барабанов, глинозема, кварцевой пыли, пыли от дробеструйной камеры и древесных отходов).

Во время работы необходимо:

- 1) определить смачиваемость промышленных пылей методом пленочной флотации;
- 2) определить сыпучесть промышленных пылей;
- 3) определить насыпную плотность и насыпную плотность уплотненной древесной пыли (опилок);
- 4) сделать вывод о влиянии дисперсности древесных отходов на значение рассчитанной насыпной плотности и насыпной плотности после уплотнения;
- 5) сделать общие выводы о физико-химических свойствах изученных промышленных пылей.

Задача № 1 «Определение смачиваемости пыли»

Склонность промышленных пылей к смачиванию оценивается методом пленочной флотации. Метод основан на определении доли массы затонувших за определенное время частиц пыли, насыпанных тонким и равномерным слоем на поверхность воды.

Для определения смачиваемости пыли берут 1 г пыли, сосуд с водой диаметром 10–12 см (толщина водного слоя – 7 см). Время высыпания должно быть не менее 2 мин, при этом сосуд или воронку перемещают так, чтобы свежая порция пыли не попадала на уже удерживаемую на поверхности воды пыль.

После высыпания всей пробы воду с оставшейся на ее поверхности пылью сливают в стакан. Осевшую на дно сосуда пыль с помощью промывалки количественно переносят на предварительно взвешенный на аналитических весах фильтр и отфильтровывают.

Фильтр с пылью помещают в сушильный шкаф и сушат при 105 °С до постоянной массы. Высушенный фильтр охлаждают в эксикаторе и взвешивают с точностью до 0,0001 г.

Смачиваемость рассчитывают по формуле:

$$\eta = \frac{M_3 - M_2}{M_1},$$

где M_1 – масса пыли, взятой для анализа, г;

M_2 – масса фильтра;

M_3 – масса фильтра с осевшей пылью, высушенного при 105 °С.

Проводят два параллельных определения и вычисляют среднее арифметическое из полученных результатов.

Данные эксперимента заносят в таблицу (табл. 2).

Таблица 2

Определение смачиваемости промышленных пылей

Тип исследуемой пыли	Масса пыли, взятой для исследования (M_1), г	Масса фильтра (M_2), г	Масса фильтра с пылью после сушки (M_3), г	Масса осевшей пыли, г	Смачиваемость пыли (η), %	η_{cp} , %

По доле затонувших частиц определяют смачиваемость изучаемых пылей:

Смачиваемость	Доля затонувших частиц, %
Плохая	< 30
Средняя	30-80
Хорошая	> 80

Задача № 2 «Определение сыпучести пыли»

Сыпучесть характеризуется, как правило, динамическим углом естественного откоса, т.е. углом, заключенным между горизонтальной поверхностью и образующей конуса, форму которого принимает пыль, свободно насыпаемая из узкого отверстия на плоскую поверхность.

Для определения сыпучести диск с измеренным диаметром закрепляют на определенной высоте над сосудом, в который будет сыпаться излишек пыли. Из отверстия, расположенного над диском по его оси, насыпают пыль до образования конуса, полностью заполняющего своим основанием диск. С помощью линейки измеряют высоту сформированного конуса.

По полученным данным рассчитывают динамический угол естественного откоса:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{2H}{d}\right),$$

где H – высота конуса,
 d – диаметр конуса.

Данные измерений заносят в таблицу (табл. 3):

Таблица 3

Определение сыпучести промышленных пылей

Тип исследуемой пыли	Диаметр конуса, см	Высота конуса, см	Динамический угол естественного откоса (α)	$\alpha_{ср}$

Задача № 3 «Определение насыпной плотности пыли»

Насыпная плотность определяется весовым методом, основанным на определении массы измеряемого объема пыли.

Для определения объема пыли используют мерный цилиндр из стекла объемом 25–50 см³ и диаметром 20–30 мм. Верхняя часть цилиндра выше шкалы должна быть обрезана и отшлифована, цена деления должна составлять от 0,5 до 1 см³.

Предварительно с точностью до 0,01 г определяют массу мерного цилиндра (M_1) и в таблицу записывают его объем (V_1) (табл. 4).

Таблица 4

Определение насыпной плотности древесной пыли

Размер фракций исследуемой пыли, мкм	Масса цилиндра (M_1), г	Масса цилиндра с пылью (M_2), г	Масса пыли (M_3), г	Объем пыли до уплотнения (V_1), мл	Рассчитанное значение насыпной плотности ($\rho_{нас}$), кг/м ³

После этого цилиндр наполняют высушенной пылью. Пыль, находящуюся выше верхней кромки цилиндра, удаляют линейкой и взвешиванием определяют массу цилиндра с пылью (M_2).

Насыпную плотность рассчитывают по формуле:

$$\rho_{нас} = \frac{M_2 - M_1}{V_1} = \frac{M_3}{V_1}.$$

Иногда для расчетов необходимо знать *насыпную плотность уплотненной пыли*. Для этого с помощью вибратора производят уплотнение пыли в цилиндре и массу пыли, определенную выше, относят к новой величине объема, измеренного по отметкам цилиндра после уплотнения. Насыпную плотность после уплотнения рассчитывают по формуле:

$$\rho_{нас}^{упл} = \frac{M_3}{V_2},$$

где V_2 – объем пыли после уплотнения, мл.

Полученные данные заносят в таблицу (табл. 5):

Таблица 5

Определение насыпной плотности древесной пыли после уплотнения

Размер фракций исследуемой пыли, мкм	Масса пыли (M_3), г	Объем пыли после уплотнения (V_2), мл	Рассчитанное значение насыпной плотности после уплотнения ($\rho_{нас}^{упл}$), кг/м ³

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА КОЛЛОКВИУМ

1. Аэродисперсные системы. Основные понятия и классификация аэрозолей (по природе дисперсной фазы, способу формирования, размеру частиц).
2. Особенности отбора (приготовления) представительной пробы.
3. Виды плотностей и особенности их определения. Сущность и область применения пикнометрического, манометрического и весового методов.
4. Счетная и массовая концентрации. Способы ее определения и выражения.
5. Дифференциальная оценка результатов дисперсного анализа.
6. Интегральная оценка результатов дисперсного анализа.
7. Определение медианного диаметра на основании данных о фракционном составе исследуемой пыли.
8. Особенности, область применения, преимущества и недостатки основных методов определения фракционного состава пыли (ситовый анализ, седиментометрический, микроскопический, метод воздушно-струйной сепарации).

9. Абразивные свойства пылей. Факторы, влияющие на абразивные свойства. Пути снижения абразивного износа коммуникаций. Особенности определения.

10. Понятие и особенности определения удельной поверхности пыли.

11. Гигроскопичность, смачиваемость и адгезионные свойства пыли – общие и отличительные признаки. Факторы, влияющие на данные свойства и методы их определения.

12. Сыпучесть пыли. Методы определения, факторы, влияющие на сыпучесть пыли.

13. Электрические свойства пылей. Классификация пылей по величине удельного электрического сопротивления (УЭС). Факторы, влияющие на УЭС. Особенности приобретения частицами электрического заряда.

14. Пожаро- и взрывоопасные свойства пылей.

ПРИМЕРЫ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОГО КОЛЛОКВИУМА

1. *Аэродисперсная система, включающая твердые частицы размером от 5 до 50 мкм:*

- а) пыли;
- б) туманы;
- в) дымы;
- г) возгоны.

2. *Плотность пыли, учитывающая объем открытых и закрытых пор:*

- а) истинная;
- б) кажущаяся;
- в) объемная;
- г) насыпная.

3. *Адгезионные свойства частиц определяют их склонность к:*

- а) слипанию;
- б) сыпучести;
- в) смачиваемости;
- г) истиранию стенок аппарата.

4. *Пыль, обладающая наибольшим показателем прочности пылевого слоя на разрыв:*

- а) коксовая пыль ($d_{\max} = 40$ мкм);
- б) торфяная пыль ($d_{\max} = 20$ мкм);
- в) глиноземная пыль;

- г) влажная коксовая пыль ($d_{\max} = 10$ мкм);
- д) цементная пыль ($d_{\max} = 25$ мкм);
- е) коксовая пыль ($d_{\max} = 10$ мкм).

5. Показатель, увеличение которого приводит к уменьшению величины удельного электрического сопротивления слоя пыли:

- а) влажность слоя пыли;
- б) диаметр частиц;
- в) температура газа;
- г) объем газа.

6. Удельная поверхность с увеличением диаметра частиц:

- а) увеличивается;
- б) уменьшается;
- в) остается неизменной, так как зависит от химической природы пыли.

7. Метод установления фракционного состава мелкодисперсной мучной пыли:

- а) ситовый анализ;
- б) воздушно-струйная сепарация;
- в) микроскопический анализ;
- г) седиментометрический (метод отмучивания);
- д) седиментометрический (метод подфракционного осаждения).

8. Плотность пыли, используемая при расчете бункеров:

- а) истинная;
- б) кажущаяся;
- в) объёмная;
- г) насыпная.

9. Плотность пыли, определяемая методом «ртутной порометрии»:

- а) истинная;
- б) кажущаяся;
- в) объёмная;
- г) насыпная.

10. Группа слипаемости пыли, с медианным диаметром частиц 20 мкм:

- а) неслипающаяся;
- б) слабослипающаяся;
- в) среднеслипающаяся;
- г) сильнослипающаяся.

11. *Полидисперсные частицы, имеющие неправильную форму, образующиеся при измельчении твердых и жидких веществ:*

- а) конденсационные аэрозоли;
- б) дисперсионные аэрозолям;
- в) пыли;
- г) туманы;
- д) золи.

12. *Соответствие определяемой плотности пыли, пикнометрической жидкости:*

истинная плотность		глицерин
кажущаяся плотность		ртуть
объемная плотность		вода

13. *Размер частиц, приводящий к наибольшему абразивному износу стенок газохода, мкм:*

- а) 20;
- б) 50;
- в) 70;
- г) 100;
- д) 210.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ветошкин, А.Г. Теоретические основы защиты окружающей среды [Текст]: учебное пособие / А.Г. Ветошкин. М.: Высшая школа, 2008. – 397 с.

Коузлов, П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов [Текст] / П.А. Коузлов. М.: Химия, 1987. – 264 с.

Тимонин, А.С. Инженерно-экологический справочник: в 3 томах [Текст] / А.С. Тимонин. Калуга: Н. Бочкаревой, 2003. Т.1. – 917 с.

Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст]: пособие по проектированию / Ю.И. Дытнерский. М.: Альянс, 2010. – 496 с.